

Literatuur

- Enkevort, P. van, 1988. Nitrificatieremmers en nitraatuitspoeling bij toediening van dierlijke mest. I. De stikstofhuishouding van de bodem en mogelijkheden van nitrificatieremmers ter beperking van nitraatuitspoeling. Nota 191, IB-DLO, Haren, 40 pp.
- Ibid. II. Werking en gedrag van nitrificatieremmers in de grond. Nota 192, IB-DLO, Haren, 49 pp.
- Ibid. III. Werking van nitrificatieremmers en hun effect op de N-huishouding van de bodem. Nota 193, IB-DLO, Haren, 58 pp.
- Ibid. IV. Samenvatting delen I, II en III en aanbevelingen voor verder onderzoek. Nota 194, IB-DLO, Haren, 19 pp.
- Goossensen, F.R. en P.C. Meeuwissen, 1990. Advies van de Commissie Stikstof. DLO, Wageningen, 93 pp.
- KNMI, 1982. Klimatologische gegevens van Nederlandse stations. 10. Normalen en standaardafwijkingen voor het tijdvak 1951-1980. KNMI Publikatie nr. 150-10, 118 pp.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1986. Advies beperking uitrijperiode dierlijke meststoffen. Rapport in opdracht van de Ministers van Landbouw en Visserij en van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Wageningen, 159 pp.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987. Mestwetgeving. Ministerie van Landbouw en Visserij, 's Gravenhage, 48 pp.
- Schröder, J., L. ten Holte, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, W.A. de Boer en E.J. Jansen, 1992. Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmais. PAGV verslag nr. 148. PAGV, Lelystad, 105 pp.
- Schröder, J. en L. ten Holte, 1993. De invloed van nitrificatieremmers, toedieningstijdstip en dosering van organische en minerale stikstof op de opbrengst van snijmais en verliezen naar het milieu. CABO-DLO verslag 179. CABO-DLO, Wageningen, 52 pp.
- Vilsmeier, K., 1979. Kolorimetrische Bestimmung von Dicyandiamid in Böden. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 142: 792-798.

Nitraatuitspoeling bij herfst- toediening van dierlijke mest

**Verslag van een onderzoek naar het
effect van toedieningstijdstip en
gebruik van een nitrificatieremmer
of wintergewas op de nitraat-
uitspoeling en de gewasgroei**

W.J. Corré

Het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Het instituut is opgericht op 1 november 1993 en is ontstaan door de samenvoeging van het Wageningse Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO) en het in Haren gevestigde Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO).

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de beleidsvoorbereiding en -uitvoering van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het bevorderen van de primaire landbouw en de agrarische industrie, het inrichten en beheren van het landelijk gebied, en het beschermen van natuur en milieu.

AB-DLO heeft tot taak het verrichten van zowel fundamenteel-strategisch als toepassingsgericht onderzoek en is gepositioneerd tussen het fundamentele basisonderzoek van de universiteiten en het praktijkgerichte onderzoek op proefstations. De verkregen onderzoeksresultaten dragen bij aan de bevordering van:

- de bodemkwaliteit;
- duurzame plantaardige produktiesystemen;
- de kwaliteit van landbouwprodukten.

Adres:

Vestiging Wageningen:

Postbus 4, 6700 AA Wageningen

tel. 08370-75700

fax 08370-23110

e-mail postkamer@ab.agro.nl

Vestiging Haren:

Postbus 129, 9750 AC Haren

tel. 050-337777

fax 050-337291

e-mail postkamer@ab.agro.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Materialen en methoden	5
3. Resultaten	9
3.1 Bemesting	9
3.2 Uitspoeling van nutriënten	9
3.3 Nutriënten in de bodem	12
3.4 Gewasreacties	14
3.5 Gedrag en werking van DCD	16
3.6 Effecten van een wintergewas	19
4. Discussie	21
4.1 Proefvelden	21
4.2 Uitspoeling van nitraat	21
4.3 Toepassing van DCD	22
4.4 Teelt van wintergewassen	23
Literatuur	25
Bijlage 1. Toegediende meststoffen	27

Samenvatting

In twee veeljarige veldexperimenten op bouwland werd de mogelijkheid onderzocht op hoge zandgronden runderdrijfmest toe te dienen in het najaar zonder daarbij de uitspoelingsrisico's te vergroten. Onderzocht werden bemesting in november of december met toevoeging van een nitrificatieremmer (DCD) en bemesting in september, direct gevolgd door het inzaaien van een wintergewas (rogge).

Bij toevoeging van DCD werd de nitrificatie effectief geremd tot in het voorjaar. De gemiddelde nitraatuitspoeling bij gebruik van DCD in november of december was niet kleiner dan bij bemesting in de winter. Gebleken is dat DCD zelf uit kan spoelen en in diepere bodemlagen langzamer afgebroken wordt dan in de bovengrond. De jaarlijkse uitspoeling was gemiddeld 7% van de toegediende hoeveelheid bij bemesting in november en 2% bij bemesting in december. In het op 90 cm diepte verzamelde percolatiewater bleef DCD aantoonbaar aanwezig tot tenminste één jaar na toediening.

Bij de teelt van een wintergewas met bemesting bij het inzaaien was de nitraatuitspoeling duidelijk lager dan bij bemesting in de winter. Het erop volgende hoofdgewas vertoonde echter een duidelijke opbrengstderving, zodat geconcludeerd kan worden dat de in september toegediende stikstof slechts ten dele voor het gewas beschikbaar kwam.

Het niveau van nitraatuitspoeling was in deze experimenten erg hoog: 80 tot 180 kg NO₃-N per hectare per jaar bij bemesting in winter of voorjaar. Voor het verlagen van de nitraatuitspoeling tot een milieukundig acceptabel niveau is bemesting met organische mest in het najaar met toevoeging van DCD een onvoldoende werkende maatregel. Inzaaien van wintergewassen in combinatie met bemesting in het voorjaar biedt betere perspectieven.

1. Inleiding

Teneinde de milieubelasting door overmatig en ondoelmatig gebruik van dierlijke mest te beperken is in 1987 het ministeriële 'Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen' van kracht geworden (Ministerie L&V, 1987). In dit besluit is de gefaseerde invoering voorzien van beperkingen in toegestane hoeveelheid, toedieningstechniek en toedieningstijdstip van dierlijke mest. Zo werd gepland vanaf 1991 de toediening van dierlijke mest op bouwland op lichte gronden te verbieden in de periode vanaf de oogst tot 1 januari. Het belangrijkste argument voor dit uitrijverbod was dat de in de mest aanwezige stikstof dan nog voor het groeiseizoen kan uitspoelen, hetzij direct naar het grondwater, hetzij naar dieper gelegen bodemlagen waar het niet meer beschikbaar is voor het gewas. Bij toediening na 1 januari kan door een betere benutting ook bespaard worden op de stikstofgift.

Beperking van de periode van mesttoediening vereist echter een vergroting van de opslagcapaciteit en kost daardoor geld. Dit verklaart de belangstelling voor het onderzoek naar mogelijke maatregelen, waarbij toch in de herfst mest kan worden toegediend zonder dat dit leidt tot een verhoogd uitspoelingsrisico. In het rapport 'Advies beperking uitrijperiode dierlijke meststoffen' (Ministerie L&V, 1986) werd dan ook gepleit voor het verrichten van onderzoek naar het gebruik van nitrificatieremmers bij het toedienen van drijfmest.

Van januari 1988 tot mei 1992 is door het DLO Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO), met financiële steun van het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA), een onderzoek verricht naar de mogelijkheden om op verantwoorde wijze in het najaar mest te kunnen uitrijden. Op basis van het literatuuronderzoek van Van Enkevort (1988-I, -II, -III en -IV) is gekozen voor onderzoek naar de mogelijkheden die de toevoeging van de nitrificatieremmer dicyaan-diamide (DCD) hiervoor biedt. Tevens is nagegaan in hoeverre het inzaaien van een wintergewas na een vroege najaarstoediening van mest uitspoelingsrisico's kan verkleinen.

In dit rapport wordt verslag gedaan van twee veeljarige veldexperimenten waarbij het effect van tijdstip van toediening van runderdrijfmest en het effect van toevoeging van DCD of inzaaien van een wintergewas op de nitraatuitspoeling en de gewasgroei op bouwland op zandgrond is onderzocht.

2. Materialen en methoden

Locatie

Er zijn twee experimenten uitgevoerd.

Experiment 1 is uitgevoerd op de IB-DLO proefboerderij in Haren. De bodem is een leemhoudende zandgrond (0-50 cm ca. 30% leem, 50-100 cm ca. 15% leem) met ongeveer 5% organische stof in de laag 0-40 cm. De grondwaterstand varieert van 80 tot 160 cm beneden maaiveld aan de lage kant van het proefveld en van 120 tot 200 cm beneden maaiveld aan de hoge kant van het proefveld. Experiment 1 is gestart in november 1988 en afgesloten in mei 1992.

Experiment 2 is uitgevoerd op het bedrijf van dhr. Kuipers in Jipsingboertange. De bodem is hier een leemloze zandgrond met een grondwaterstand van 90 tot 180 cm beneden maaiveld. Het hoogteverschil binnen het proefveld is maximaal 20 cm, maar dit is wel gekoppeld aan grote verschillen in gehalte aan organische stof. Het grootste deel van het proefveld bevat 5 tot 6% organische stof in de laag van 0 tot 40 cm diepte, op een aantal iets lager gelegen plekken is dit echter 8 tot 14%. Experiment 2 is gestart in september 1989 en afgesloten in mei 1992.

Objecten

De objecten 1-7 zijn aangelegd in beide experimenten, in experiment 1 in drievoud en in experiment 2 in viervoud. De objecten 8 en 9 zijn alleen aangelegd in experiment 2.

Objecten:

1. geen stikstofbemesting
2. runderdrijfmest in september met direct inzaaien van winterrogge
3. runderdrijfmest in november
4. runderdrijfmest met DCD in november
5. runderdrijfmest in december
6. runderdrijfmest met DCD in december
7. runderdrijfmest in januari
8. runderdrijfmest in maart
9. stikstofkunstmest in het voorjaar

Omdat het bij de aanleg van experiment 1 in november 1988 te laat was om nog winterrogge in te zaaien, is object 2 in deze proef in het eerste proefjaar behandeld als object 9 (geen organische mest, kunstmeststikstof in het voorjaar).

De objecten 5 en 6 zijn in beide experimenten reeds afgesloten in september 1991. In de objecten 8 en 9 zijn na september 1991 alleen nog uitspoelingsmetingen uitgevoerd en zijn geen verdere waarnemingen meer verricht.

Bemesting

Runderdrijfmest is steeds toegediend in een hoeveelheid van 50 ton per hectare. De werkelijk toegediende hoeveelheid drijfmest is per veldje gemeten, de gehalten aan ammoniumstikstof en totaal-stikstof en overige nutriënten in de mest zijn steeds per object bepaald. In de seizoenen 1988/1989 en 1989/1990 is de mest kort na bovengrondse toediening ingewerkt en in de seizoenen 1990/1991 en 1991/1992 is de mest geïnjecteerd. Stikstofkunstmest (kalkammonsalpeter) is gegeven in een hoeveelheid overeenkomend met de werkzame stikstof uit de drijf-

mest. Hierbij is een drijfmestgift van 50 ton per hectare met een stikstofgehalte van 5% en een werkingscoëfficiënt van 60% (150 kg ha^{-1}) voor snel inwerken en 80% (200 kg ha^{-1}) voor injectie aangenomen.

Andere nutriënten zijn gegeven in hoeveelheden die zeker voldoende moesten zijn voor een maximale groei, zodat alleen de beschikbare hoeveelheid stikstof eventueel groeibeperkend zou kunnen zijn.

De toegediende bemesting is voor alle objecten samengevat in bijlage 1, de stikstofbemesting (in $\text{kg NH}_4\text{-N}$ en $\text{kg totaal-N ha}^{-1}$) is per object weergegeven in tabel 3.1 (p. 9).

Uitspoeling

De uitspoeling van nutriënten en DCD is berekend als de som van het produkt van waterafvoer en gehalten aan nutriënten en DCD voor een aantal aaneengesloten perioden. Deze gehalten zijn bepaald op een diepte van ongeveer 90 cm.

De waterafvoer (of grondwatervoeding) is berekend op basis van de neerslag, de verdamping en de veranderingen in hoeveelheid vocht, vastgehouden in de bovengrond. De neerslag is bij beide proefvelden gemeten en de verdamping is geschat op basis van de potentiële verdamping, zoals deze bepaald wordt op het KNMI weerstation Eelde. Voor begroeide grond is de potentiële verdamping aangehouden, eventueel met de door het KNMI opgegeven correctiefactoren. Voor kale grond is als verdamping steeds de helft van de potentiële verdamping aangehouden. Deze aanname is niet experimenteel onderbouwd, maar de potentiële verdamping buiten het groeiseizoen is gering. Daardoor was de berekende verdamping niet meer dan ongeveer 15% van het neerslagoverschot en zal de eventueel gemaakte fout ook relatief klein zijn. De hoeveelheid vocht in de bovengrond is berekend op basis van de gemeten grondwaterstanden en de voor de steeds 20 cm dikke bodemlagen bepaalde pF-curven.

De gehalten aan nutriënten en DCD zijn periodiek bepaald, in principe steeds na een neerslagoverschot van 35 millimeter: de hoeveelheid waarbij het vocht van de bemonsterde laag ongeveer geheel vervangen zal zijn.

In experiment 1 zijn de gehalten direct gemeten in bodemvocht, verzameld d.m.v. ceramische cups. Gemeten zijn de gehalten aan nitraat, ammonium, kalium en op de objecten 3 (als blanco), 4 en 6 ook DCD.

In experiment 2 zijn de gehalten in het bodemvocht berekend uit de bepaalde gehalten aan nutriënten en vocht van de bodemlaag van 80 tot 100 cm diep, verzameld door middel van grondmonsters. In de grondmonsters zijn alleen de gehalten aan nitraat en ammonium bepaald.

Bodembemonstering

Het gehalte aan N-mineraal (nitraat- en ammoniumstikstof) is steeds bepaald tussen 0 en 100 cm diepte voor vijf lagen van 20 cm dikte. De bodem is bemonsterd na de oogst en verder maandelijks in de periode tussen de bemesting en mei. Het onbemeste object is maandelijks van de oogst tot mei bemonsterd. Alleen in het laatste proefjaar is om de twee maanden bemonsterd.

Na de oogst en in maart is het kaligehalte van de bodem bepaald, eveneens voor vijf lagen van 20 cm dikte. In maart is de pH (pH-water en pH-KCl) bepaald in de laag van 0-20 cm diepte.

Vanaf de bemesting tot mei is in de grondmonsters van de objecten 3 (als blanco), 4 en 6

parallel aan de bepaling van N-mineraal per object ook het gehalte aan DCD bepaald in de lagen van 0-20 en van 20-40 cm diepte

Alle bepalingen zijn uitgevoerd per object; alleen de bepaling van het gehalte aan N-mineraal na de oogst en in mei is uitgevoerd per veldje.

Gewas

Op object 2 is jaarlijks in september winterrogge ingezaaid. Deze is bij de voorjaarsgrondbewerking van het gehele proefveld ondergeploegd. De bovengrondse produktie aan drogestof en het gehalte aan stikstof hierin zijn per veldje bepaald.

In experiment 1 zijn achtereenvolgens fabrieksaardappelen (1989), suikerbieten (1990) en snijmais (1991) geteeld, in experiment 2 waren dat suikerbieten (1990) en fabrieksaardappelen (1991).

Bij de aardappelen zijn de drogestofproduktie en het stikstofgehalte van loof (alleen in 1989) en knollen, en het onderwatergewicht van de knollen bepaald. Bij de suikerbieten zijn de drogestofproduktie en het stikstofgehalte van loof en bieten, en het suikergehalte van de bieten bepaald. Het loof van de bieten is van het proefveld afgevoerd. Bij de snijmais zijn de drogestofproduktie en het stikstofgehalte van het totale geoogste produkt bepaald. Alle bepalingen zijn verricht per veldje.

Chemische analyses

Het gehalte aan nitraat- en ammoniumstikstof in de bodem werd colorimetrisch bepaald na extractie van 1 deel verse grond in 2,5 delen 1N KCl. In dezelfde extracten werd het gehalte aan DCD colorimetrisch bepaald volgens de methode van Vilsmeier (1979). De pH-KCl werd potentiometrisch bepaald na extractie van gedroogde grond in 1N KCl (1 op 5) en het kaligehalte werd vlamfotometrisch bepaald na extractie van gedroogde grond in een 0,1N HCl/0,4N oxaalzuur extractiemengsel (1 op 10).

De gehalten aan nitraat- en ammoniumstikstof, kalium en DCD in bodemvocht werden direct bepaald volgens bovenstaande meetmethoden.

Het stikstofgehalte in gewasmonsters werd bepaald door colorimetrische meting van ammoniumstikstof na destructie in een zwavelzuur/salicylzuurmengsel met Na_2SO_4 , CuSO_4 en Se als katalysator.

Het totaal-stikstofgehalte van drijfmest werd colorimetrisch bepaald na destructie in zwavelzuur met CuSO_4 als katalysator (Kjeldahl). Het gehalte aan ammoniumstikstof in drijfmest werd colorimetrisch bepaald na extractie in water (1 op 10).

Statistiek

De verschillen in waargenomen bodem- en gewasparameters tussen de objecten zijn op significantie ($p < 5\%$) getoetst met behulp van Student's t-toets. Hierbij zijn steeds twee objecten onderling vergeleken. Een directe toetsing van alle objecten tegelijkertijd met behulp van een variantieanalyse leverde veel minder significante verschillen op omdat de variantie voor de verschillende objecten meestal zeer ongelijk was. De significantie van de onderlinge verschillen is in de betreffende tabellen aangeduid; verschillen zijn significant ($p < 5\%$) bij het ontbreken van een gelijke letter.

3. Resultaten

3.1 Bemesting

In tabel 3.1 wordt per object een overzicht gegeven van de toegediende hoeveelheid ammonium- en totaal-stikstof.

Doordat de bemesting op verschillende tijdstippen moest plaatsvinden, was het niet mogelijk identieke mest te gebruiken. Hierdoor zijn er soms aanzienlijke verschillen in stikstofgift tussen de objecten ontstaan. Deze zijn in hoofdzaak veroorzaakt door verschillen in stikstofgehalte, zowel ammonium- als totaal-stikstof, en in veel mindere mate door verschillen in toegediend volume. Omdat de verschillende veldjes van een object wel steeds mest van eenzelfde samenstelling hebben gekregen zijn relatief kleine verschillen in stikstofgift al significant (zie tabel 3.1). De verschillen in stikstofgift tussen de gelijktijdig bemeste objecten met en zonder DCD kwamen meestal goed overeen met de verwachte 20 kg N ha⁻¹ uit de toegevoegde DCD.

3.2 Uitspoeling van nutriënten

Grondwatervoeding

De uitspoeling van nutriënten is mede afhankelijk van de grondwatervoeding, de hoeveelheid vocht die in de bodem wegzakt. Deze kan per jaar, plaats en bodemtype aanzienlijk verschillen.

Tabel 3.1 Toegediende hoeveelheden ammonium- en totaal-stikstof (kg N ha⁻¹)

Object	1988/1989		1989/1990		1990/1991		1991/1992	
	NH ₄ -N	tot-N	NH ₄ -N	tot-N	NH ₄ -N	tot-N	NH ₄ -N	tot-N
Experiment 1								
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-	-***	105	238 _a	130	239 _b	135	247 _a
3	120	272 _{ab}	119	242 _a	163	242 _{abc}	127	282 _c
4*	123	292 _b	119	266 _{bc}	182	253 _c	128	265
5	132	263 _a	138	251 _{ab}	132	308 _d	-	-
6*	131	287 _b	134	271 _c	125	315 _d	-	-
7	137	278 _{ab}	155	314 _d	155	231 _a	119	273 _{bc}
Experiment 2								
1			0	0	0	0	0	0
2			141	291 _{cd}	101	198 _b	106	215 _c
3			122	267 _b	105	183 _a	97	202 _b
4*			125	340 _f	109	198 _b	99	220 _c
5			139	291 _c	145	228 _c	-	-
6*			154	308 _{de}	109	249 _d	-	-
7			181	331 _{ef}	162	230 _c	93	195 _a
8			126	249 _a	100	198 _b	-	-
9**			75	150	100	200	-	-

* : totaal-N is bij de objecten 4 en 6 inclusief 20 kg N in de vorm van DCD

** : object 9 is bemest met kalkammonsalpeter

*** : dit object is in april 1989 bemest met kalkammonsalpeter (150 kg N ha⁻¹)

abc : verschillen zijn significant (p < 5%) bij het ontbreken van een gelijke letter

De berekende grondwatervoeding voor de twee experimenten is weergegeven in tabel 3.2. Deze berekening geldt voor de onbegroeide veldjes. Voor de begroeide veldjes van object 2 is een grotere verdamping berekend en de jaarlijkse grondwatervoeding moet dan met 35 tot 40 mm verlaagd worden.

Tabel 3.2 Grondwatervoeding in mm in de periode van september tot mei

	1988/1989	1989/1990	1990/1991	1991/1992
Experiment 1*	260 (+120)**	280	350	440
Experiment 2*	-	220	300	370

* : met uitzondering van object 2 (met winterrogge): hier was de berekende grondwatervoeding 35 tot 40 mm kleiner

** : na aanvang van de metingen op 9-11-1988 260 mm en hiervoor 120 mm

De gevonden verschillen tussen de jaren en tussen de twee experimenten worden veroorzaakt door verschillen in regenval. Het verschil in regenval komt zeer goed overeen met het veeljarig (1950 tot 1980) verschil in regenval tussen de weerstations van Groningen en Eelde (800 en 780 mm) enerzijds en het weerstation van Vlagtwedde (730 mm) anderzijds (KNMI 1982).

Nitraat

De resultaten van de berekening van de uitspoeling van nitraat zijn weergegeven in tabel 3.3.

In het eerste proefjaar zijn de waarnemingen gestart op 9 november. Daarvoor was al veel regen gevallen, de grondwatervoeding in de voorgaande periode is op 120 mm berekend en

Tabel 3.3 Nitraatuitspoeling (kg N ha⁻¹) in de periode van september tot mei

Object	1988/1989*	1989/1990	1990/1991	1991/1992
<u>Experiment 1</u>				
1	90 _a	130 _b	90 _a	90 _a
2	-	80 _a	160 _{bc}	140 _b
3	100 _a	200 _{bc}	180 _{bc}	240 _c
4	70 _a	170 _{bc}	190 _c	230 _c
5	100 _a	160 _{bc}	150 _b	-
6	90 _a	140 _{bc}	130 _b	-
7	70 _a	160 _c	150 _b	180 _{bc}
<u>Experiment 2</u>				
1		120 _{abc}	80 _{abc}	70 _a
2		90 _a	90 _{ab}	90 _b
3		150 _e	120 _d	180 _d
4		110 _b	90 _{ab}	110 _c
5		130 _{cd}	90 _{abc}	-
6		120 _{bc}	90 _b	-
7		140 _{de}	120 _{cd}	130 _c
8		120 _b	80 _a	90 _b
9		120 _b	80 _{ab}	90 _b

* : berekend vanaf 9-11-1988, voor deze datum was in alle objecten naar schatting al ongeveer 20 kg N ha⁻¹ uitgespoeld

abc : zie tabel 3.1

hierdoor moet de nitraatuitspoeling met ongeveer 20 kg N ha^{-1} vermeerderd worden. Deze vermeerdering is voor alle objecten gelijk omdat verschillen in behandeling ook pas na 9 november aangebracht zijn.

Grondwatervoeding vindt normaal alleen plaats in de periode van september tot april of mei. In juni 1991 is uitzonderlijk veel regen gevallen, waardoor enige grondwatervoeding in deze periode waarschijnlijk is. Het was door het ontbreken van nauwkeurige gegevens over vochtgehalten van de bodem en grondwaterstanden echter niet mogelijk de grondwatervoeding voor deze periode te berekenen. De grondwatervoeding en de uitspoeling van nutriënten kunnen voor het seizoen 1990/1991 dus iets onderschat zijn.

Zoals te verwachten was in deze experimenten, uitgevoerd op daartoe uitgekozen uitspoelingsgevoelige gronden, was het uitspoelingsniveau hoog. Verrassend waren de betrekkelijk geringe verschillen tussen de objecten, en dan met name het uitspoelingsniveau van het onbemeste object. In experiment 1 en 2 werden na drie en twee jaar zonder stikstofbemesting nog nitraatgehalten in het percolatiewater gevonden van gemiddeld respectievelijk 20 en 19 $\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$; dit is ruim boven de drinkwaternorm ($11,3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$).

Bij bemesting in september, gevolgd door inzaai van een wintergewas, was de uitspoeling altijd minder dan bij bemesting in november; alleen in het seizoen 1990/1991 was dit niet significant. Meestal was de uitspoeling in aanwezigheid van een wintergewas zelfs minder dan bij bemesting in januari of maart; dit was echter alleen in het seizoen 1989/1990 significant. In 1989/1990 was de uitspoeling zelfs minder dan die in het onbemeste object, significant in experiment 1 maar niet in experiment 2.

Wanneer geen wintergewas of DCD werd gebruikt had het tijdstip van bemesting een eenduidig effect op de uitspoeling. Deze was altijd het hoogst bij bemesting in november, hoewel het verschil vaak niet significant was (zie tabel 3.2). Het verschil tussen bemesting in december en januari (exp. 1) of maart (exp. 2) was echter te verwaarlozen. In experiment 2 was de uitspoeling bij bemesting in januari zelfs groter dan bij bemesting in december.

Het effect van toevoeging van DCD was in het algemeen niet groot en kon per jaar, experiment en toedieningstijdstip sterk verschillen. Bij experiment 1 en 2 bedroeg het gunstig effect op de uitspoeling bij gebruik in november resp. 15 en 45 kg N ha^{-1} ; alleen het verschil in experiment 2 was significant. Bij gebruik in december was het verschil resp. 15 en 5 kg N ha^{-1} ; in beide experimenten was dit verschil niet significant. Gebruik van DCD in de herfst gaf vaak een slechter resultaat dan wachten met bemesten tot januari of maart. De effecten van DCD worden verder onder 3.5 besproken.

Ammonium

De uitspoeling van ammoniumstikstof is alleen bepaald in experiment 1 en was daar slechts in één jaar in één object iets hoger dan $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De uitspoeling was niet significant verschillend voor de verschillende objecten, ook niet voor het onbemeste object.

Kalium

Ook de uitspoeling van kalium is alleen gemeten in experiment 1 en werd niet beïnvloed door vorm of tijdstip van bemesting. De enige afwijking was een verhoogde uitspoeling in 1991/1992; ongeveer $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$ tegenover 30 tot 40 kg in de andere jaren. Deze verhoging werd veroorzaakt door het grotere neerslagoverschot.

3.3 Nutriënten in de bodem

N-mineraal

De mogelijke gewasopbrengst wordt sterk beïnvloed door de hoeveelheid N-mineraal die in mei in de bodem aanwezig is; deze is weergegeven in tabel 3.4.

Deze hoeveelheid is het kleinst in object 1, maar hoewel duidelijk niet toereikend voor een optimale groei, is deze hoeveelheid nog aanzienlijk en neemt ze in de loop der jaren maar langzaam af.

Zeer opvallend is verder dat in object 2 van experiment 1, ondanks bemesting in september voor het inzaaien van het wintergewas, in mei nauwelijks meer N-mineraal aanwezig was dan op het onbemeste object. In object 2 van experiment 2 was deze hoeveelheid aanzienlijk hoger. Bij het onderploegen in maart was de aanwezige hoeveelheid N-mineraal in alle gevallen nog kleiner dan die in het onbemeste object (zie fig. 4.1b voor het verloop van de hoeveelheid N-mineraal in 1989/1990 in experiment 1).

Het toedieningstijdstip van de mest had een gering effect op de voorraad N-mineraal in mei. In experiment 1 was het effect het grootst, maar alleen significant in 1990. In experiment 2 was het effect minder duidelijk; de voorraad aan N-mineraal was hier na bemesting in januari erg hoog en na bemesting in maart juist lager dan verwacht.

Het gebruik van DCD had een gering positief effect op de voorraad N-mineraal in mei. Het was alleen significant in experiment 1 bij toediening in december 1990. Het effect van DCD was verrassenderwijs groter bij bemesting in december dan bij bemesting in november: 30 vs 10 kg ha⁻¹.

Tabel 3.4 N-mineraal (kg N ha⁻¹) in de bodemlagen 0-40 en 0-100 cm in mei

Object	1989		1990		1991		1992	
	0-40	0-100	0-40	0-100	0-40	0-100	0-40	0-100
Experiment 1								
1	63 _a	123 _a	53 _a	95 _a	63 _a	93 _a	34 _a	61 _a
2	-	-	80 _{ab}	108 _a	82 _a	114 _a	52 _b	75 _a
3	84 _{ab}	195 _b	80 _b	187 _b	126 _b	213 _b	66 _c	160 _b
4	161 _{cd}	225 _b	113 _{bc}	199 _b	149 _b	214 _b	90 _d	170 _b
5	95 _b	217 _b	84 _{ab}	184 _b	164 _{bc}	231 _{bc}	-	-
6	178 _d	248 _b	142 _c	209 _b	261 _d	320 _d	-	-
7	145 _c	242 _b	96 _c	208 _b	196 _c	240 _c	85 _d	169 _b
Experiment 2								
1			65 _a	132 _a	50 _a	86 _a	125 _a	178 _a
2			132 _{bcd}	188 _{ab}	130 _{bcd}	162 _b	186 _b	232 _b
3			106 _{bc}	220 _{ab}	90 _b	164 _b	132 _a	232 _b
4			125 _{bc}	190 _{ab}	127 _c	178 _b	176 _b	253 _b
5			111 _{abc}	211 _{ab}	171 _{cde}	230 _{bc}	-	-
6			132 _{cd}	184 _{ab}	225 _{ef}	282 _{cd}	-	-
7			198 _d	303 _b	275 _f	347 _d	186 _{ab}	304 _b
8			104 _b	164 _a	152 _d	196 _b	-	-
9			138 _{bcd}	208 _{ab}	224 _{ef}	278 _{cd}	-	-

* : de waarden voor dit jaar zijn in experiment 2 om onbekende reden onwaarschijnlijk hoog en niet in berekeningen meegenomen

abc : zie tabel 3.1

DCD had een duidelijk effect op de verdeling binnen het bodemprofiel: met DCD was er in mei meer N-mineraal aanwezig in de laag van 0-40 cm (gemiddeld 40 en 60 kg ha⁻¹ bij toepassing in november en december) en minder in de laag van 40-100 cm (voor beide maanden 30 kg ha⁻¹).

De hoeveelheid N-mineraal die na de oogst nog in de bodem aanwezig was is weergegeven in tabel 3.5.

Zonder bemesting bleef steeds 30 tot 40 kg N-mineraal ha⁻¹ achter na de oogst. De teelt van een wintergewas had in experiment 1 een duidelijke en in 1991 ook significante verlaging van de voorraad N-mineraal na de oogst tot gevolg; in experiment 2 was dit niet het geval. Dit komt overeen met het in mei gevonden verschil tussen de twee experimenten.

De toevoeging van DCD had geen eenduidig effect. Er trad zowel verhoging als verlaging van de hoeveelheid N-mineraal na de oogst op. Alleen bij de teelt van aardappelen was de hoeveelheid N-mineraal na de oogst bij gebruik van DCD altijd lager, maar niet significant verschillend.

pH-KCl

Uit maandelijkse metingen van de pH-KCl in experiment 1 in de periode november 1988 tot maart 1989 bleek de pH bij toevoeging van drijfmest direct te stijgen. Door de verzurende werking van de nitrificatie daalde de pH ook weer snel tot het niveau van het onbemeste object. Bij toevoeging van DCD bleef de pH over een langere periode stijgen. Daarna trad wel een daling in, maar de pH bleef tot het voorjaar hoger dan in de objecten waar geen DCD toegevoegd was. Dit verschil in pH in het voorjaar bedroeg ongeveer 0,2 eenheden en was identiek voor alle proefjaren en beide experimenten.

Tabel 3.5 N-mineraal (kg N ha⁻¹) in de bodem (0-100 cm) na de oogst

Object	1989	1990	1991
Experiment 1			
1	39 _a	41 _a	36 _a
2	(44)	53 _{ab}	49 _a
3	69 _c	87 _{bc}	86 _b
4	41 _a	78 _c	94 _b
5	59 _{bc}	73 _{bc}	90 _{bc}
6	45 _{ab}	77 _{abc}	121 _c
7	62 _c	74 _{bc}	105 _{bc}
Experiment 2			
	1989*	1990	1991
1	122	39 _a	33 _a
2	100	36 _a	41 _{ab}
3	105	51 _a	58 _b
4	95	34 _a	44 _{ab}
5	88	38 _a	54 _b
6	85	35 _a	45 _{ab}
7	117	60 _a	59 _b
8	97	33 _a	42 _{ab}
9	110	39 _a	44 _{ab}

* : bepaald per object

abc : zie tabel 3.1

3.4 Gewasreacties

Stikstofopname

Verwacht mag worden dat de aangebrachte verschillen in bemesting in eerste instantie gevolgen hebben voor de opname van stikstof door de gewassen. De opname is niet gemeten; alleen de stikstofinhoud van de afgevoerde gewasopbrengsten is bepaald en weergegeven in tabel 3.6. In 1989 is ook de stikstofinhoud van het loof van de aardappelen bij de oogst bepaald. Deze was 17 kg N ha⁻¹ in object 1 en 30 tot 35 kg in de ander objecten. De stikstofinhoud van de afgevoerde gewasopbrengsten word verder aangehouden als maat voor de stikstofopname.

Er is een aantal duidelijke verschillen waargenomen. Hoewel slechts bij uitzondering significant, was de stikstofopname steeds het laagst in object 1. Het verschil was groter in experiment 2 en werd steeds sterker in de opeenvolgende proefjaren.

Object 2, met een wintergewas, had ook een lage stikstofopname, vooral de snijmais in experiment 1 in 1991.

Het tijdstip van bemesting had een duidelijk effect op de stikstofopname. Deze was altijd groter bij een latere toediening, maar meestal was alleen het verschil tussen bemesting in november en bemesting in januari significant. De stikstofopname in object 9 (kunstmest) was in beide proefjaren relatief laag. De toevoeging van DCD had, behalve bij de bieten in experiment 2, steeds een positief effect op de stikstofopname en dit effect was gemiddeld groter bij bemesting in november dan bij bemesting in december. Het was echter alleen significant in 1989 in experiment 1 bij bemesting in november en in december en in 1991 in experiment 2 bij bemesting in december.

Tabel 3.6 Stikstofinhoud (kg N ha⁻¹) in afgevoerde gewasopbrengsten

Object	1989	1990	1991
Experiment 1			
	aardappelen	suikerbieten	snijmais
1	112 _a	118 _a (46 + 78)*	77 _a
2	-	193 _{bc} (65 + 128)	100 _{ab}
3	129 _{ab}	165 _b (55 + 110)	113 _b
4	165 _c	200 _{bc} (69 + 131)	138 _{bc}
5	149 _b	200 _{bc} (64 + 136)	141 _c
6	159 _c	230 _c (79 + 151)	153 _c
7	164 _c	220 _c (73 + 147)	151 _c
Experiment 2			
		suikerbieten	aardappelen
1		135 _a (62 + 73)	54 _a
2		196 _{ab} (97 + 99)	115 _{bc}
3		215 _{bc} (101 + 114)	86 _{ab}
4		206 _b (101 + 105)	120 _{bc}
5		243 _{bc} (108 + 135)	133 _c
6		222 _{bc} (106 + 116)	154 _d
7		284 _c (132 + 152)	170 _d
8		182 _{ab} (86 + 96)	115 _{bc}
9		210 _b (102 + 108)	132 _{cd}

* : afgevoerd N = (N in biet + N in loof)

abc : zie tabel 3.1

Gewasopbrengsten

Naarmate minder stikstof wordt opgenomen wordt deze beter benut; dat blijkt uit de gewasopbrengsten van tabel 3.7. De effecten waren globaal dezelfde als bij de stikstofinhoud, maar de relatieve verschillen waren altijd kleiner. In experiment 1 was in het eerste proefjaar het verschil in opbrengst maximaal 5%, terwijl het verschil in stikstofinhoud maximaal 25% was, overigens werden maximale verschillen van 15 tot 45% in opbrengst en van 50 tot 65% in stikstofinhoud gevonden.

Samenvattend kan wat de gewasopbrengsten betreft gezegd worden dat deze negatief beïnvloed werden door bemesting in november, significant in experiment 1 in 1990 en 1991, en dat dit negatieve effect grotendeels vermeden kon worden door de toevoeging van DCD. Bemesting in december gaf gemiddeld ongeveer dezelfde opbrengst als bemesting in januari.

De drogestofopbrengsten en de stikstofinhoud van de winterrogge van object 2 zijn weergegeven in tabel 3.8. De groei was zeer goed in het eerste seizoen, vrij goed in het tweede seizoen en ook vrij goed in experiment 2 in het derde seizoen, maar slecht in experiment 1 in het derde seizoen.

Tabel 3.7 Gewasopbrengsten (ton drogestof ha⁻¹) en ton betaald produkt* ha⁻¹

Object	1989		1990			1991	
Experiment 1							
	aardappelen		suikerbieten				
	ds knol	betaald produkt	ds loof	ds biet	betaald produkt	sniijmais ds	
1	12,0 _a	62 _a	4,1	7,7 _{ab}	5,4 _{ab}	8,1 _a	
2	-	- _a	5,3	8,2 _b	5,9 _{bc}	8,8 _{abc}	
3	12,1 _a	61 _a	4,9	7,6 _a	5,4 _a	9,4 _b	
4	12,6 _a	63 _a	5,4	8,5 _b	6,1 _c	10,3 _{bcd}	
5	12,6 _a	64 _a	5,7	8,5 _{ab}	6,0 _{abc}	11,0 _{cd}	
6	12,4 _a	63 _a	6,1	9,1 _{ab}	6,4 _{abc}	11,6 _d	
7	12,4 _a	63 _a	6,2	8,7 _b	6,3 _c	11,4 _d	
Experiment 2							
			suikerbieten			aardappelen	
			ds loof	ds biet	betaald produkt	ds knol	betaald produkt
1			3,6	10,8 _a	8,2 _a	7,7 _a	39 _a
2			4,4	13,3 _{ab}	9,6 _{ab}	12,4 _{bc}	64 _b
3			4,9	13,6 _b	10,0 _b	10,7 _{ab}	55 _b
4			4,4	13,9 _{ab}	10,0 _{ab}	12,4 _{bc}	64 _b
5			5,5	14,4 _b	10,4 _b	13,3 _{bc}	68 _b
6			4,6	13,4 _{ab}	9,6 _{ab}	12,5 _{bc}	64 _b
7			5,6	14,1 _{ab}	10,3 _b	13,2 _c	66 _b
8			4,2	12,3 _a	8,9 _a	12,1 _{bc}	62 _b
9			4,7	13,2 _{ab}	9,4 _{ab}	12,3 _{bc}	62 _b

* : betaald produkt:

- suikerbieten: suiker

- aardappelen : 'uitbetalingsgewicht' = vers gewicht * $\frac{(o.w.g. - 100)}{300}$

o.w.g. = onderwatergewicht, in grammen van 5 kg aardappelen

abc : zie tabel 3.1

Tabel 3.8 Bovengrondse drogestofproductie (kg ds ha⁻¹) en stikstofinhoud (kg N ha⁻¹) van winterrogge in maart in object 2

	Experiment 1		Experiment 2	
	drogestof	stikstof	drogestof	stikstof
1990	2480	85	2010	76
1991	1400	41	1230	52
1992	420	15	1360	62

3.5 Gedrag en werking van DCD

De gevonden hoeveelheden DCD in de lagen 0-20 en 20-40 cm zijn zeer variabel, zowel in de ruimte (tussen veldjes) als in de tijd (binnen veldjes). Het is alleen mogelijk een globaal verloop van de aanwezige hoeveelheid DCD te schetsen. Dit is weergegeven in figuur 3.1. Geconcludeerd kan worden dat de aanwezige hoeveelheid aanvankelijk snel afneemt, dat de afname in de winter traag verloopt en dat het restant in het voorjaar vrij snel verdwijnt. Dit globale verloop in de tijd sluit goed aan bij de verwachting dat de afbraaksnelheid vooral afhankelijk van de temperatuur is. Omdat later in het seizoen vaak meer DCD werd gevonden in de laag 20-40 cm dan in de laag 0-20 cm is het niet onwaarschijnlijk dat een deel van de niet teruggevonden DCD is uitgespoeld en niet is afgebroken. Uit metingen in het bodemvocht in experiment 1 is gebleken dat DCD tot zeker 1 meter diepte kan uitspoelen. De hoeveelheden uitgespoelde DCD zijn samengevat in tabel 3.9.

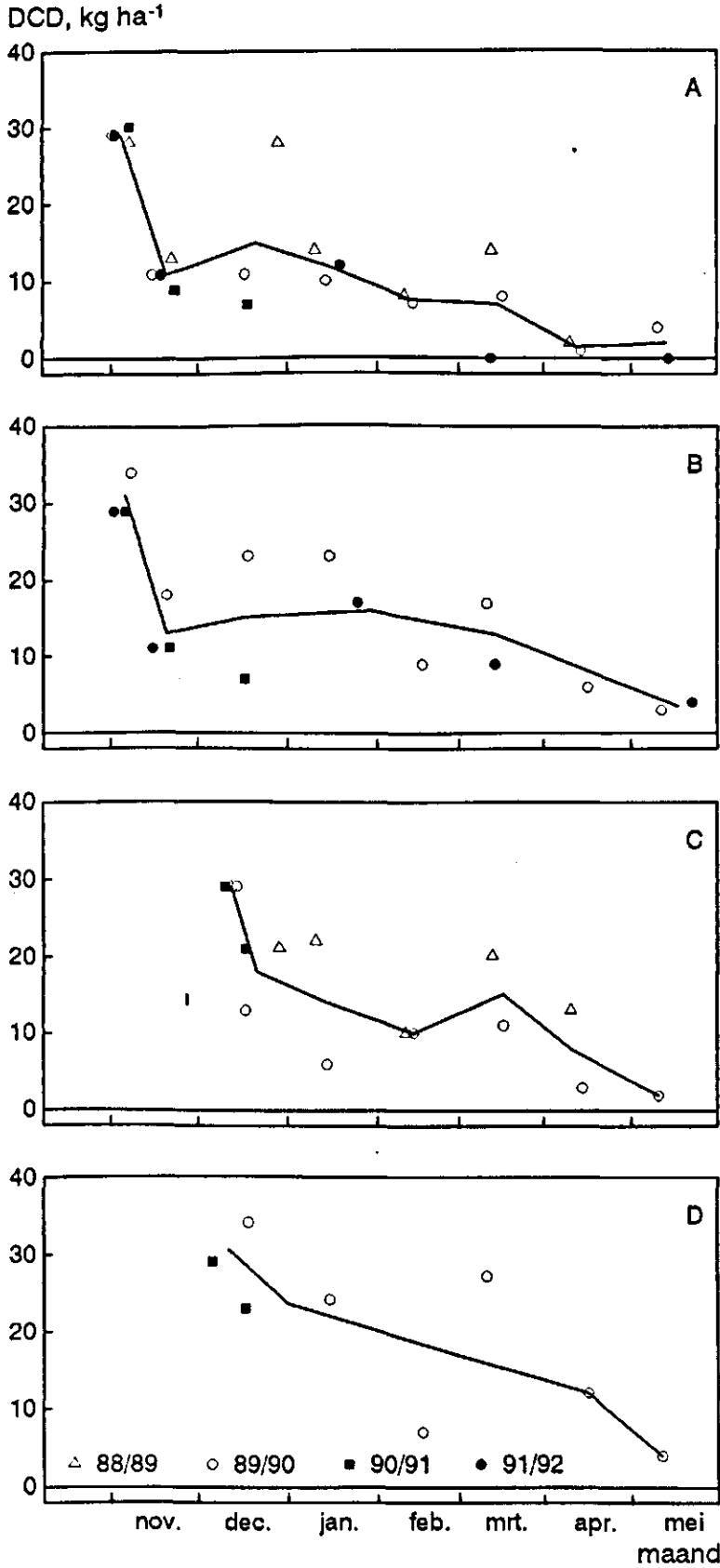
Uit de metingen blijkt ook dat DCD in de ondergrond veel minder snel afbreekt dan in de bovengrond. DCD was meestal nog aanwezig in het bemonsterde bodemvocht in het najaar, voor de volgende bemesting plaatsvond. De gehalten lagen dan tussen 0 en 0,4 mg DCD per liter. Bij toediening in november bleef het DCD-gehalte op dit niveau tot vroeg in de winter, wanneer het weer hoger werd door uitspoeling van nieuwe DCD. Bij toediening in december was later in de volgende herfst geen DCD meer in het bemonsterde water aanwezig. Nieuwe uitspoeling vond pas later in de winter weer plaats.

Tabel 3.9 Uitspoeling van DCD (kg ha⁻¹) in experiment 1 in de periode van september tot mei

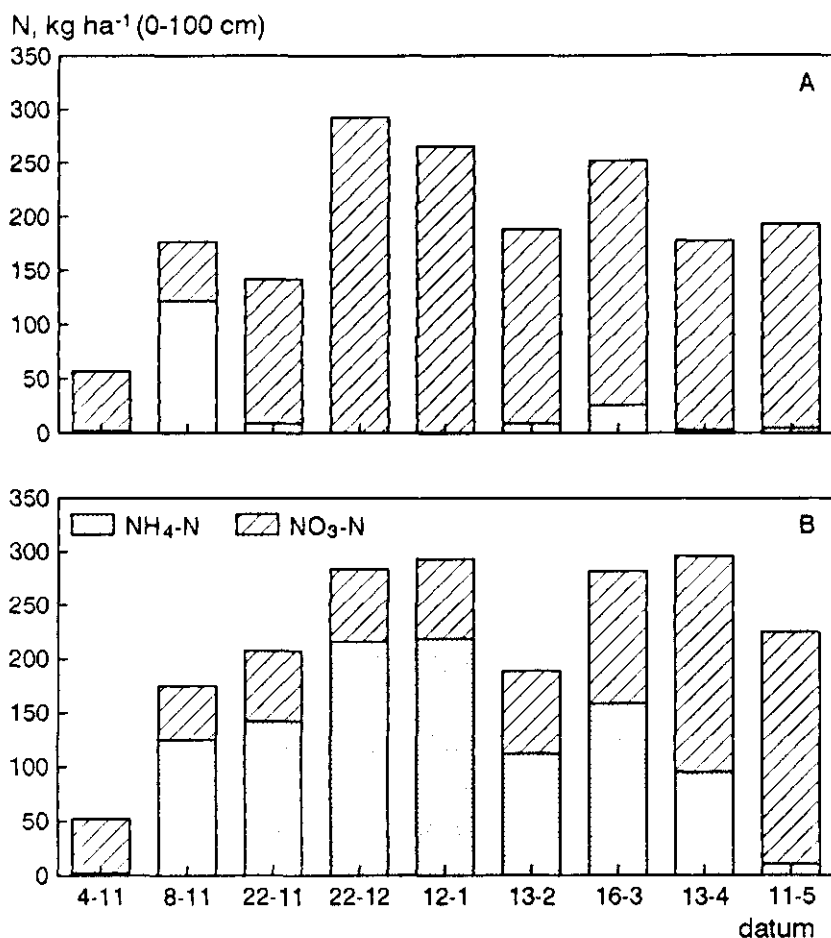
Object	1988/1989	1989/1990	1990/1991	1991/1992
4	1,5	1,9	1,9	2,8
6	0,3	0,8	0,6	-

Wat betreft de beoogde werking, het vertragen van de nitrificatie, voldoet DCD zeker aan de verwachtingen. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 3.2 in de vorm van de hoeveelheden NH₄-N en NO₃-N (0-100 cm) in object 3 en 4 van experiment 1, maandelijks gemeten van november 1988 tot mei 1989. Bij bemesting met toevoeging van DCD (object 4) was de gemeten hoeveelheid NO₃-N tot februari zelfs nog lager dan die in het onbemeste object. Op grond van de gemeten hoeveelheden NO₃-N in de bodem kan dan vastgesteld worden dat bij herfsttoediening van mest met DCD geen vergroting van de nitraatuitspoeling ten opzichte van mesttoediening in de winter te verwachten is.

De overige effecten van DCD op bodem en gewas zijn reeds besproken bij de betreffende onderwerpen en worden hier alleen samengevat.



Figuur 3.1 Verloop van de aanwezige hoeveelheid DCD (kg ha⁻¹) in de bodemlaag van 0-40 cm diepte bij bemesting in november (A: exp. 1; B: exp. 2) of december (C: exp. 1; D: exp. 2). N.B.: op de dag van bemesting zijn de toegediende hoeveelheden (± 30 kg ha⁻¹) ingetekend. Let op schaalverschillen y-as.



Figuur 3.2 Verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de bodemlaag van 0-100 cm diepte na bemesting met runderdrijfmest op 8-11-1988 zonder (A) en met toevoeging van DCD (B). N.B.: op 8-11 is ingetekend de hoeveelheid van 4-11 plus de op 8-11 met de mest toegevoegde hoeveelheid (120 kg NH₄-N).

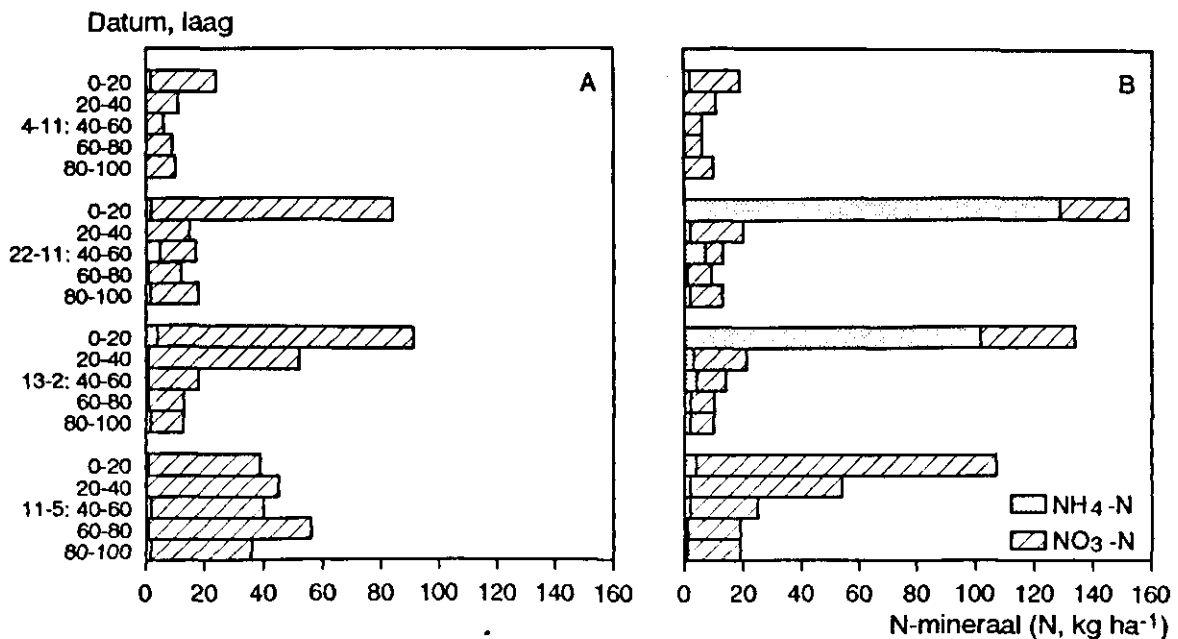
Het gebruik van DCD had een verlagend effect op de uitspoeling van nitraat, maar het effect was gering en niet goed voorspelbaar. Het effect was alleen statistisch betrouwbaar in experiment 2 bij toediening in november.

De uitspoeling van ammonium was altijd zeer gering en werd niet beïnvloed door toevoeging van DCD. Gedurende de winter was er bij gebruik van DCD vaak wel iets meer ammonium aanwezig in de diepere bodemlagen, maar in het voorjaar was hierin geen verschil.

Het gebruik van DCD had geen effect op de uitspoeling van kalium.

Onder uitspoeling wordt verstaan de verplaatsing van stoffen naar bodemlagen die buiten het bereik van gewassen liggen, meestal wordt hiervoor een diepte van 100 cm aangenomen. Wanneer ook verplaatsing binnen de bovenste 100 cm bekeken wordt, blijkt dat het gebruik van DCD hierop een groot effect had. In figuur 3.3 is weergegeven de verdeling over de diepte van de NH₄-N en NO₃-N in object 3 en 4 van experiment 1, gemeten van november 1988 tot mei 1989.

Gemiddeld voor alle jaren en beide experimenten had het gebruik van DCD een positief effect op de voorraad aan N-mineraal van 0 tot 100 cm, gemeten in mei. Voor bemesting in november



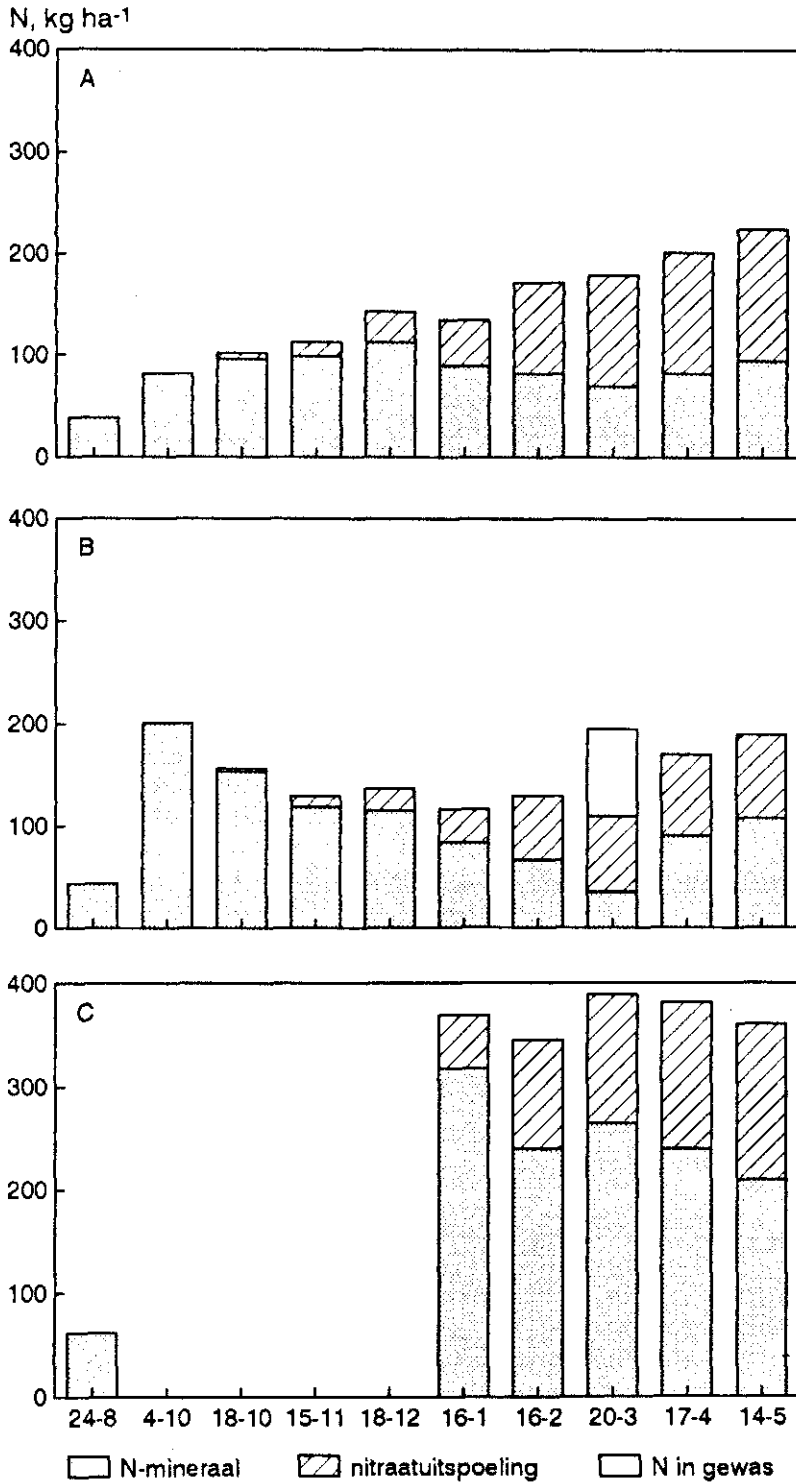
Figuur 3.3 Verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem op verschillende diepten na bemesting met runderdrijfmest op 8-11-1988 zonder (A) en met toevoeging van DCD (B).

en december bedroeg dit resp. 10 en 30 kg ha⁻¹. Dit verschil was alleen significant voor bemesting in december in experiment 1. De toename kwam volledig op rekening van de laag 0-40 cm. De voorraad in de laag 0-40 cm was resp. 40 en 60 kg ha⁻¹ groter (meestal was dit verschil significant) en de voorraad in de laag 40-100 cm was in beide gevallen 30 kg ha⁻¹ kleiner. Dit verschil in locatie van N-mineraal in de bodem had tot gevolg dat met name bij de aardappelen het gebruik van DCD een positief effect had op de voorjaarsontwikkeling van het gewas. Dit effect was bij de oogst echter niet meer zichtbaar. Er was wel in praktisch alle gevallen een positief effect van het gebruik van DCD op de stikstofopname. De stikstofafvoer met het geoogste produkt was bij bemesting in november en december gemiddeld resp. 22 en 12%. Het verschil was in beide experimenten alleen significant bij de teelt van aardappelen.

Het effect op de produktie was veel kleiner. De drogestofopbrengst was bij gebruik van DCD bij bemesting in november gemiddeld 8% hoger (alleen significant in experiment 1 in 1990) en bij bemesting in december gemiddeld zelfs 2% lager (3% hoger in experiment 1 en 7% lager in experiment 2).

3.6 Effecten van een wintergewas

Bij de teelt van een wintergewas is gemiddeld duidelijk minder nitraat uitgespoeld dan bij bemesting in de winter, in 1989/1990 zelfs minder dan in het onbemeste object. De oorzaak hiervan ligt in de sterke verlaging van de in de winter aanwezige hoeveelheid N-mineraal bij de teelt van een wintergewas. Dit is voor het winterseizoen 1989/1990 voor experiment 1 weergegeven in figuur 3.4. Gemiddeld voor beide experimenten en alle proefjaren was in maart, kort voor het onderploegen van het wintergewas, in object 2 de aanwezige hoeveelheid N-mineraal 20 kg ha⁻¹ lager dan in object 1 en 200 kg ha⁻¹ lager dan in object 7. Dit verschil van 200 kg is niet te verklaren door uitspoeling (deze was juist lager) en maar gedeeltelijk door opname in het gewas (deze was gemiddeld minder dan 100 kg N ha⁻¹).



Figuur 3.4 Verloop van de hoeveelheid N-mineraal in de bodemlaag van 0-100 cm diepte en de geaccumuleerde uitspoeling voor het winterseizoen 1989/1990 in experiment 1.
A: geen bemesting, B: bemesting in september met wintergewas, C: bemesting in januari.

4. Discussie

4.1 Proefvelden

De proefvelden in Haren en in Jipsingboertange zijn gelegen op hoge zandgrond. Bij beide komt het grondwater zelden boven 80 cm onder het maaiveld. De velden hebben een soortgelijke stikstofhuishouding met nitraatuitspoeling als belangrijkste verliespost en de effecten van de verschillende behandelingen in de proeven vertonen een grote overeenkomst. Toch zijn er ook enkele opmerkelijke verschillen tussen de twee proeven.

De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid neerslag is in Haren ongeveer 60 mm groter dan in Jipsingboertange. Dit verschil is geheel beperkt tot de uitspoelingsperiode en resulteerde in de proefjaren in een verschil in neerslagoverschot van gemiddeld eveneens 60 mm. Dit verschil is waarschijnlijk gedeeltelijk de oorzaak van het gevonden verschil in uitspoeling (zie ook 4.3).

Er lijkt een duidelijk verschil te zijn in stikstoflevering tussen de twee proefvelden. Dit is af te leiden uit de stikstofafvoer en de gewasopbrengst van het onbemeste object. In Haren nemen deze veel minder snel af. Dit verschil in stikstoflevering is waarschijnlijk mede-oorzaak van het gevonden verschil in uitspoeling (zie ook 4.3).

4.2 Uitspoeling van nitraat

De beide experimenten zijn bewust aangelegd op een hooggelegen zandgrond, zodat verwacht mocht worden dat de nitraatuitspoeling de belangrijkste verliespost van stikstof zou zijn. Het verrassende is dan ook niet het hoge uitspoelingsniveau van de bemeste objecten, maar het nauwelijks lagere uitspoelingsniveau van het onbemeste object.

Dit geeft aan dat een groot deel van de uitgespoelde stikstof niet afkomstig was van de laatste bemesting, maar al langere tijd in de grond aanwezig was. Dit verklaart ook waarom het verschil in uitspoeling tussen bemesten in november en bemesten in januari relatief klein was (gemiddeld 30 kg N) en bovendien waarom het effect van de toevoeging van DCD maar klein was (gemiddeld 20 kg N).

Relatief kleine verschillen bij een vergelijkbaar niveau van nitraatuitspoeling zijn ook gevonden in het onderzoek van Schröder en Ten Holte (1993). In dit onderzoek werd gedurende drie jaar continu mais geteeld bij een bemesting met 50 ton (in het eerste jaar 30 ton) runderdrijfmest per ha. Bij toediening in oktober werd in de periode van november tot november een uitspoeling gemeten van gemiddeld 135 kg NO₃-N, bij toevoeging van DCD was dit 125 kg N per ha. Bij toediening in december was de uitspoeling gemiddeld 130 kg N per ha; deze daalde bij toevoeging van DCD tot 90 kg.

Wanneer gesteld wordt dat een effect op de uitspoeling 'klein' is, betekent dat niet dat de gevolgen eveneens klein zijn. Een voor deze proeven relatief kleine toename in uitspoeling van b.v. 30 kg NO₃-N per jaar leidt bij een neerslagoverschot van 300 mm tot een verschil van 10 mg NO₃-N in het percolatiewater, terwijl de drinkwaternorm slechts 11,3 mg NO₃ l⁻¹ is.

Verlaging van de nitraatuitspoeling tot een milieukundig acceptabel niveau zal niet op korte termijn bereikt kunnen worden door het verlagen van de bemesting alleen. Na drie jaar zonder bemesting bevatte het percolatiewater in experiment 1 op 90 cm diepte nog 20 mg NO₃-N per liter, bijna twee maal de norm voor drinkwater, terwijl de gewasopbrengst inmiddels 30% achterbleef. In experiment 2 was dit na twee jaar zonder bemesting nog 19 mg NO₃-N per liter, terwijl de opbrengst hier al ruim 40% achterbleef. Een nitraatuitspoeling die leidt tot een

concentratie in het bovenste grondwater van twee maal de drinkwaternorm wordt voor hooggelegen zandgronden acceptabel geacht als overgangsmaatregel. Op langere termijn is het beleid gericht op het slechts bij uitzondering overschrijden van de drinkwaternorm in het grondwater op 1 meter onder de grondwaterspiegel (Goossensen en Meeuwissen, 1990). Verwacht mag worden dat op deze hooggelegen zandgronden de nitraatconcentratie in het grondwater tussen 1 meter onder het maaiveld (de meetdiepte) en 1 meter onder de grondwaterspiegel maar weinig zal dalen. We kunnen dan vaststellen dat de nitraatuitspoeling van de onbemeste objecten nog geen milieukundig acceptabel niveau heeft bereikt.

Een substantiële verlaging van de uitspoeling zal alleen op langere termijn bereikt kunnen worden door maatregelen die de mineralisatie buiten het groeiseizoen sterk verminderen. Te denken is aan het gebruik van stikstofarme organische meststoffen en een zeer gericht gebruik van kunstmeststikstof, waarbij in de bemestingsadviezen meer rekening gehouden moet worden met de te verwachten mineralisatie. Dit moet bij voorkeur gecombineerd worden met maatregelen die de uitspoeling van deze gemineraliseerde stikstof verminderen, zoals de teelt van wintergewassen (zie hiervoor verder onder 4.3.).

Concluderend kan vastgesteld worden dat:

- de uitspoeling op hogere zandgronden niet op korte termijn tot milieukundig gewenste niveaus terug te brengen is,
- de uitspoeling alleen bij een sterke vermindering van de mineralisatie voldoende terug te brengen is,
- dit niet mogelijk is zonder een aanzienlijke verlaging van de bemesting en de opbrengst,
- de mate van noodzakelijke verlaging van de bemesting afhankelijk is van de mogelijkheden om laat in het seizoen gemineraliseerde stikstof in de bodem vast te houden.

Omdat akkerbouw op de hoger gelegen zandgronden een vrijwel marginale economische bezigheid is lijkt de kans groot dat het terugbrengen van de uitspoeling tot een milieukundig wenselijk niveau een inkomensdaling tot gevolg zal hebben die de draagkracht te boven gaat. Dan staan in principe drie opties open:

- uit productie nemen van de hooggelegen zandgronden,
- geven van financiële compensatie voor de opbrengstderving,
- toestaan van blijvende overschrijding van het gewenste uitspoelingsniveau, waarbij de kosten van de verwijdering van nitraat uit drinkwater op 'de landbouw' verhaald worden, b.v. door een heffing op het stikstofoverschot op de mineralenbalans.

4.3 Toepassing van DCD

Op grond van de zeer effectieve remming van de nitrificatie door DCD, zoals geïllustreerd in figuur 3.2, werd in hoofdstuk 3.5 vastgesteld dat bij toediening van drijfmest in november of december met toevoeging van DCD geen vergroot uitspoelingsrisico te verwachten is ten opzichte van toediening in de winter. Waardoor de nitraatuitspoeling in experiment 1 bij mesttoediening in november met DCD toch groter is dan bij toediening in januari is moeilijk te verklaren. Het is geen gevolg van het bemestingstijdstip, want in experiment 2 werd het tegengestelde gevonden.

Toelating van bemesting in de herst met toevoeging van DCD zal dus niet leiden tot een vergroting van het uitspoelingsrisico ten opzichte van de huidige regels. Het draagt echter ook niet bij tot een verlaging van de uitspoeling en lijkt dan ook niet te passen in een bemestingsstrategie die is gericht op het bereiken van een milieukundig gewenst uitspoelingsniveau.

De verschillen in stikstofinhoud van het (afgevoerde) gewas en in mindere mate de gewasopbrengst waren niet eenduidig en te klein om hier conclusies voor het al dan niet toepassen van DCD aan te verbinden.

Het grote bezwaar tegen het gebruik van DCD wat uit dit onderzoek naar voren komt is de geconstateerde uitspoeling van het middel zelf. Gemiddeld was de jaarlijkse uitspoeling van DCD 7% bij toediening in november en 2% bij toediening in december. Bovendien is gebleken dat uitgespoeld DCD veel langzamer afbreekt dan DCD in de bovengrond. In het op 90 cm diepte verzamelde percolatiewater was DCD aantoonbaar aanwezig tot tenminste een jaar na toediening. Hoewel er aanwijzingen zijn dat DCD onder anaërobe omstandigheden afgebroken kan worden (Van Enckevort, 1988-IV) pleiten de geconstateerde uitspoeling en vertraagde afbraak tegen het gebruik van DCD.

4.4 Teelt van wintergewassen

In de hier beschreven experimenten was de teelt van een wintergewas, winterrogge, niet bedoeld als middel om de na het groeiseizoen overgebleven of nog gemineraliseerde stikstof voor uitspoeling te behoeden, maar als eventuele mogelijkheid om in de herfst al organische mest voor het volgende jaar toe te dienen zonder daarbij het uitspoelingsrisico ten opzichte van bemesten in de winter te verhogen.

Wat beperking van de uitspoeling betreft is deze teelt zeer succesvol geweest. Gemiddeld is bij de teelt van het wintergewas duidelijk minder nitraat uitgespoeld dan bij bemesting in de winter (zie 3.2). De oorzaak hiervan ligt in de sterke verlaging van de in de winter aanwezige hoeveelheid N-mineraal bij de teelt van het wintergewas (zie ook figuur 3.4). Het is niet duidelijk waar deze stikstof blijft: zij spoelt niet uit, wordt maar gedeeltelijk door het wintergewas opgenomen en komt ook maar gedeeltelijk ter beschikking aan het hoofdgewas.

Concluderend kan gesteld worden dat de teelt van wintergewassen de uitspoeling sterk verlaagt, maar wel een aantal kanttekeningen behoeft.

- er was meestal een opbrengstderving: de gegeven stikstof was niet uitgespoeld, maar ook niet geheel beschikbaar voor het hoofdgewas,
- het onderzoek is gedaan in jaren met relatief warme winters; hierdoor kan het geschetste beeld te optimistisch zijn,
- een wintergewas moet vroeg gezaaid worden; dit kan leiden tot een opbrengstderving van het hoofdgewas en een hoger residu van N-mineraal, wat op zich de uitspoeling weer zou kunnen vergroten.

Wanneer wintergewassen geteeld worden in combinatie met bemesting bij het onderwerken van het gewas in winter of voorjaar zal geen opbrengstderving optreden als gevolg van niet meer beschikbaar komen van de meststikstof. Ook dan zal de uitspoeling ten opzichte van onbegroeide percelen sterk verminderen (Schröder et al., 1992).

Ook in dit geval kan de noodzaak van vroeg zaaien leiden tot een opbrengstderving van gewassen met een lange groeiperiode (aardappelen, suikerbieten, mais). Uit het onderzoek van Schröder et al., (1992) is gebleken dat de kosten van deze opbrengstderving bij mais plus de kosten van de teelt van een wintergewas ongeveer even groot zijn als de kosten van de opbrengstderving die het gevolg is van het zo ver verlagen van de stikstofbemesting dat eenzelfde uitspoelingsniveau wordt bereikt.

Samenvattend bleek dat de teelt van winterrogge gemiddeld een sterke verlaging van de uitspoeling tot gevolg had, een verlaging die nog versterkt zou kunnen worden door niet te bemesten voor het inzaaien, maar bij het onderwerken van het gewas. Een effectief wintergewas moet echter vroeg gezaaid worden. Wanneer dit leidt tot een opbrengstderving van het hoofdgewas is nog niet duidelijk of de teelt van een wintergewas de beste strategie is om te komen tot een verlaagde uitspoeling.

Literatuur

- Enkevort, P. van, 1988. Nitrificatieremmers en nitraatuitspoeling bij toediening van dierlijke mest. I. De stikstofhuishouding van de bodem en mogelijkheden van nitrificatieremmers ter beperking van nitraatuitspoeling. Nota 191, IB-DLO, Haren, 40 pp.
- Ibid. II. Werking en gedrag van nitrificatieremmers in de grond. Nota 192, IB-DLO, Haren, 49 pp.
- Ibid. III. Werking van nitrificatieremmers en hun effect op de N-huishouding van de bodem. Nota 193, IB-DLO, Haren, 58 pp.
- Ibid. IV. Samenvatting delen I, II en III en aanbevelingen voor verder onderzoek. Nota 194, IB-DLO, Haren, 19 pp.
- Goossensen, F.R. en P.C. Meeuwissen, 1990. Advies van de Commissie Stikstof. DLO, Wageningen, 93 pp.
- KNMI, 1982. Klimatologische gegevens van Nederlandse stations. 10. Normalen en standaardafwijkingen voor het tijdvak 1951-1980. KNMI Publikatie nr. 150-10, 118 pp.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1986. Advies beperking uitrijperiode dierlijke meststoffen. Rapport in opdracht van de Ministers van Landbouw en Visserij en van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Wageningen, 159 pp.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987. Mestwetgeving. Ministerie van Landbouw en Visserij, 's Gravenhage, 48 pp.
- Schröder, J., L. ten Holte, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, W.A. de Boer en E.J. Jansen, 1992. Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmais. PAGV verslag nr. 148. PAGV, Lelystad, 105 pp.
- Schröder, J. en L. ten Holte, 1993. De invloed van nitrificatieremmers, toedieningstijdstip en dosering van organische en minerale stikstof op de opbrengst van snijmais en verliezen naar het milieu. CABO-DLO verslag 179. CABO-DLO, Wageningen, 52 pp.
- Vilsmeier, K., 1979. Kolorimetrische Bestimmung von Dicyandiamid in Böden. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 142: 792-798.

Bijlage 1 Toegediende hoeveelheden meststoffen (kg ha⁻¹)

Jaar	Object	ton rdm	k.m.-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Kalk
<u>Experiment 1</u>								
1988/1989	1	0	0	140	330	0	0	1000
	2	0	150	140	330	0	0	1000
	3-7	50*	0	90	0	0	0	1000
1989/1990	1	0	0	100	300	50	0	1000
	2-7	50*	0	30	50	0	0	1000
1990/1991	1	0	0	150	300	0	75	0
	2-7	50*	0	75	50	0	25	0
<u>Experiment 2</u>								
1989/1990	1	0	0	100	250	50	0	2500
	2-8	50*	0	0	0	0	0	2500
	9	0	150	100	250	50	0	2500
1990/1991	1	0	0	110	225	0	0	0
	2-8	50*	0	0	0	0	0	0
	9	0	200	110	225	0	0	0

* : veronderstelde werkzame nutriënteninhoud van 50 ton runderdrijfmest:

N: 150 kg (60%) bij snel inwerken, 200 kg (80%) bij injecteren

P₂O₅: 100 kg

K₂O: 250 kg

Na₂O: 50 kg

MgO: 50 kg